

基于SCD解析的智能变电站VLAN划分方法与实现

VLAN技术通过限制智能变电站报文的广播域，隔离多余报文，减轻交换机工作负荷，提高变电站网络传输效率和通信质量。但VLAN的划分主要由人工完成，缺乏统一的准则，没有正反校验，容易导致配置错误，存在划分方案非最优等问题。介绍了VLAN的特点，分析了VLAN划分存在的误区，提出基于SCD解析的智能变电站VLAN划分方法与实现，从充分必要条件阐述了划分方法的正确性，基于流量差异性肯定了VLAN划分方案的优势，最后给出VLAN划分方案的实例。

李 波/广东电网公司电力调度控制中心
文 婷/广东电网公司管理科学研究院



李 波/工程师

关键词/Keywords

智能变电站 ·
VLAN划分 ·
SCD解析 ·

基于IEC 61850的智能变电站的一个重要特征就是二次设备的网络化，实现跨间隔、跨专业和跨变电站的报文信息共享，构建了电网信息统一共享的数据平台。海量的变电站基础数据共享与处理对变电站通信系统的实时性、可靠性和安全性提出了更高的要求。变电站通信系统采用虚拟局域网（Virtual Local Area Network, VLAN）限制报文的广播域，隔离多余的报文，减小广播风暴的影响范围，减轻交换机的工作负荷，提高变电站网络传输效率和通信质量。VLAN技术在智能变电站中拥有非常好的发展前景，对变电站的发展起重要作用^[1-6]。

分析了VLAN的特点及其在智能变电站应用中的误区，提出了基于变电站配置描述（Substation Configuration Description, SCD）文件解析的VLAN划分方法，介绍了如何在SCD文件中提取VLAN划分的基础信息，实现了基于

拓扑关系^[7,8]和订阅关系^[9-12]的VLAN划分，并比较分析了不同网络传输方式的流量特征，最后结合实际变电站给出了基于SCD文件的VLAN划分方案。

智能变电站网络通信的VLAN

1. VLAN的特点

VLAN在智能变电站中有以下特点。

1) 控制广播域的范围，把站内具有同一性质的设备划分到一个VLAN内。

2) 变电站通信网络管理具有灵活性，相同或者不同物理范围的设备所用的VLAN可以划分在同一个VLAN组或者不同的VLAN组。

3) 只有在同一个VLAN内的变电站设备才能收到该VLAN内部的信息，否则接收不到信息，从而提高了整个网络的安全性。

2. 智能变电站VLAN使用的误区

现有VLAN技术在变电站中的使用主要存在以下几个问题。

1) 变电站VLAN划分困难，没有统一的划分原则，主要是根据管理人员的工作经验进行划分，加之变电站设备数量众多，导致VLAN划分模糊。

2) VLAN划分没有进行反校验，一般只要求设备能够接收到应该接收的报文，并没有对接收到不应该接收到的报文进行相应的处理。

3) 主要通过人工进行VLAN划分配置，容易产生人为失误，导致VLAN划分不合理。

基于SCD解析的VLAN基础信息获取

1. SCD文件

SCD文件描述了一个智能变电站内各个孤立的智能电子设备 (Intelligent Electronic Devices, IED) 以及各IED间的逻辑联系, 它完整记录了各个孤立的IED是怎样整合为一个功能完善的变电站自动化系统。SCD文件主要由信息头 (Header)、变电站描述 (Substation)、IED描述、通信系统描述 (Communication) 和数据类型模版 (DataTypeTemplates) 5部分构成。其中与设备订阅关系联系最紧密的有IED和Communication两部分。其结构图分别如图1、图2所示。

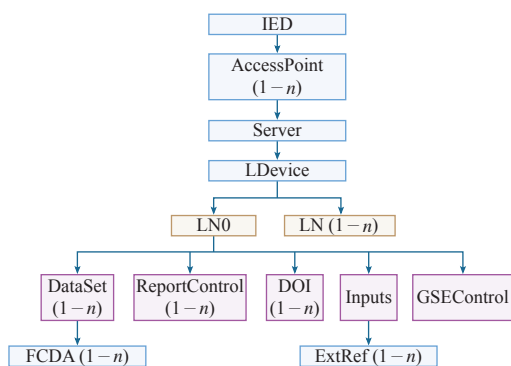


图1 IED的结构图

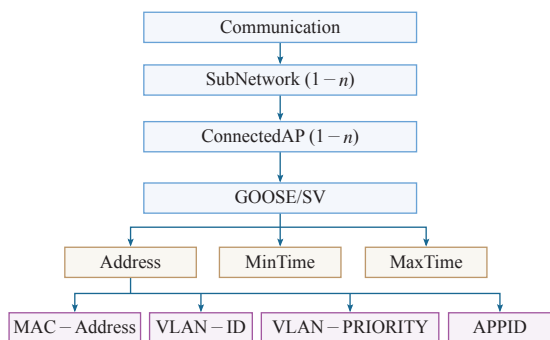


图2 Communication的结构图

图中, AccessPoint为访问点; Server为服务器; LDevice为逻辑设备; LN为逻辑节点; Subnetwork为子网; GOOSE为面向通用对象的变电站事件; SV为采样值; 其他参量为信息存储元素。

2. 网络拓扑结构的获取

目前关于网络拓扑结构的研究方法主要有简

单网络管理协议 (Simple Network Management Protocol, SNMP)、Internet控制消息协议 (Internet Control Message Protocol, ICMP)、路由选择信息协议 (Routing Information Protocol, RIP) 和链路状态路由协议 (Open Shortest Path First, OSPF)。其中OSPF协议有收敛速度快和稳定性好等诸多优点, 是网络拓扑研究的主流手段。

(1) 拓扑信息的收集

在变电站的网络结构当中, 利用OSPF协议, 将信息分成一个个区域, 每个区域都有一个区域编号, 即Area ID, 站内的每一个交换机端口有自己的硬件地址 (Media Access Control Address, MAC), 各设备也都有自己的ID号。

每台交换机通过链路状态通告 (Link-State Advertisements, LSA) 来描述与其相连链路的状态信息。交换机与交换机之间的连接关系用 S_i -to- S_j 表示并记录下来, 交换机与设备之间的连接关系用 S_i -to- D_j 表示并记录下来, 并且不同的区域之间的连接关系用 A_i -to- A_j 来表示并记录。通过访问所有区域、交换机及设备后, 即可形成整个网络的LSA, 即OSPF的网络拓扑信息的收集。

(2) 网络拓扑的构建

在知道了整个变电站的LSA结构后, 通过分析LSA中所包含的连接关系信息, 可知某条链路是属于 A_i -to- A_j 、 S_i -to- S_j 和 S_i -to- D_j 这3种形式的哪一种。整合并分析这些信息后, 就可以实现网络拓扑结构的构建, 最后以表格形式生成。

3. 订阅关系的获取

解析SCD文件可以获得设备之间信息的订阅关系, 它主要依赖IED发送报文配置信息和IED接收报文配置信息的解析。

(1) IED发送报文解析

如图2所示, 在Communication部分当中包含了多个Subnetwork, 而每个Subnetwork又包含了多个AccessPoint, 它们可以接收或者发送GOOSE/SV报文。AccessPoint由每个IED设备的名称 (iedName) 和对应的访问点名称 (apName) 共同描述并唯一标识。

在图2中，每一个GOOSE/SV报文由控制块名称（cbName）和逻辑设备实例（ldInst）共同唯一标识。在GOOSE/SV报文传送的地址Address当中，包含了报文的MAC地址、所属的VLAN-ID、优先级VLAN-PRIORITY和应用标识APPID。在SCD文件里面，每一个APPID都唯一标识了GOOSE/SV报文。通过对Communication的解析，得到一个以APPID为主的发送报文的解析表，如表1所示。

表1 IED发送报文配置表

APPID	iedName	apName	type	cbName	ldInst
0001	goserver	A ₁	GOOSE	GoCB1	goserver
—	—	—	—	—	—
40001	MM2206A	M ₁	SV	smvcbl	MU
—	—	—	—	—	—

表1中，第一行数据是由控制块为“GoCB1”控制的IED“goserver”的“A₁”端口发送APPID为0001的GOOSE报文。

(2) IED接收报文解析

在图1的IED结构图中，一个ExtRef字段包含了daName、doName、lnClass、ldInst、lnInst、iedName、prefix和intAddr等信息。通过对该字段的解析，可以得到相对应的数据集，然后再对数据集解析，从而得到对应的cbName。对ExtRef解析得到iedName、cbName和ldInst信息后通过查找表1里面的发送报文的配置信息，即可得出相应的APPID和报文类型type，最终形成IED接收报文配置表，如表2所示。

表2 IED接收报文配置表

APPID	iedName	apName	type	ldInst
4001	P22001	S ₁	SV	PROT
—	—	—	—	—
4001	PM2201	S ₁	SV	LD0
—	—	—	—	—

在表2中，第一行数据是IED“P22001”的端口“S₁”接收APPID为4001的SV报文。

需要指出的是，表1与表2中的iedName、apName和ldInst是不同的，表1对应的是Access Point字段，而表2对应的则是Inputs字段。

(3) 设备之间的订阅关系

综合表1的IED发送报文和表2的IED接收报文配置表的信息，可得到整个变电站全部IED设备之间的虚拟连线（各IED设备间的订阅关系），如图3所示。

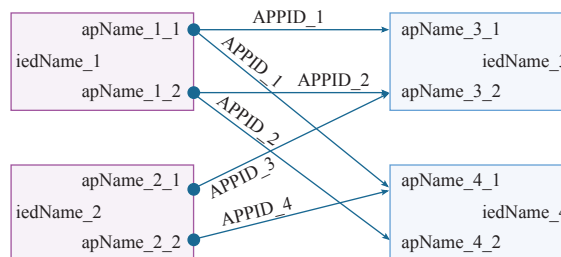


图3 IED设备间的订阅关系

基于性能评价的VLAN划分

基于SCD文件解析获取VLAN划分的基础信息后，满足充分必要性的VLAN划分方案制定及性能分析是下一步工作。

1. VLAN的划分

在一个已经设计好或者建好的变电站中，从拓扑结构关系和订阅关系中对VLAN进行划分，主要是按以下4个参数进行划分：虚拟局域网ID号（Port-baseVlan ID, PVID）、交换机端口所支持的VLAN号（Support VLAN）、端口类型和Send tagged/Send untagged。

1) PVID关系到端口收发报文时的VLAN tag标记。在智能变电站内，其设置原则是把具有同一性质或者能够实现同一种功能的设备端口归为不同类型，然后分别设置不同的PVID号。

2) 一个交换机端口可以设置多个Support VLAN号，主要是根据不同间隔的不同设备间的信息交互情况来设置，某报文通过该设备端口时，将该报文的VLAN ID归属到该端口的Support VLAN当中。

3) 交换机端口主要有3种链路类型，分别是Access、Trunk和Hybrid。一般设备与交换机之间连接的端口属于Access类型，它只能属于一个VLAN；交换机与交换机之间的连接端口属于Trunk类型，可以属于多个VLAN；可以用于交换

机之间的连接,也可以用于交换机和设备之间连接的端口属于Hybrid类型,可以属于多个VLAN。

4) 对应端口收到报文后发送时是设置成Send tagged还是Send untagged取决于该端口的类型。对于Access端口,它发送出的报文总是去掉VLAN信息,故属于Send untagged;对于Trunk端口,先比较端口的PVID和所要发送报文的VLAN信息,如果相等则去掉VLAN信息再发送,此时属于Send untagged,否则属于Send tagged;对于Hybrid端口,先判断VLAN在该端口的属性,如果是Untagged则去掉VLAN信息再发送,如果是Tagged则直接发送,故其属于Send tagged。

通过以上4个参数的设置,就可以将变电站的VLAN初步划分成功。

2. VLAN划分的校验

(1) 充分性校验

对变电站每一设备逐一查询其相关的订阅关系表和VLAN表,查询该设备所属的VLAN组,检查是否能够接收到订阅关系表里作为订阅者该接收的所有报文,若不能,查询没有接收报文的发布者设备,将其编入该设备所属的VLAN组。

(2) 必要性校验

对变电站每一设备逐一查询其相关的订阅关系表和VLAN表,查询该设备所属的VLAN组,检

查是否会接收到除订阅关系表外的其他报文,若有,判断该报文的发布者设备能否移出这个VLAN组且对此VLAN组内其他设备报文的接收不造成影响,或者将该发布者设备与受到影响的设备再多组成一个VLAN组。

3. VLAN划分方案的性能分析

一个典型的变电站网络拓扑结构如图4所示。

图4中,MU为合并单元;P&C IED为保护与控制IED。对报文网络传输的3种方式:广播、单播和VLAN进行流量差异评价。在图4的变电站中,假设一帧为275 byte的报文从设备MU IED_{T1}发出,报文的地址是所有间隔的P&C IED。广播方式下,整个网络当中除了设备MU IED_{T1}本身外,理论上其他设备(T₁间隔有4个设备;T₂间隔有4个设备,1个服务器;母线间隔S有3个设备;馈线间隔F₁、F₂分别有3个设备)都要收到其发出的报文。故整个网络当中的流量 $L_1 = (1 + 3 + 4 + 1 + 3 + 3 + 3) \times 275 \text{ byte} = 4\,950 \text{ byte}$ 。可见,由于每个设备都要接收报文,导致使整个网络的流量剧增,这就对中心交换机处理报文的能力提出了非常高的要求,同时可能引起网络风暴。

单播方式下,每次传送到其他设备的报文,其信源都得复制一遍,整个网络的流量 $L_2 = 5 \times (1 + 1) \times 275 \text{ byte} = 2\,750 \text{ byte}$ 。相对于广播方式,这种

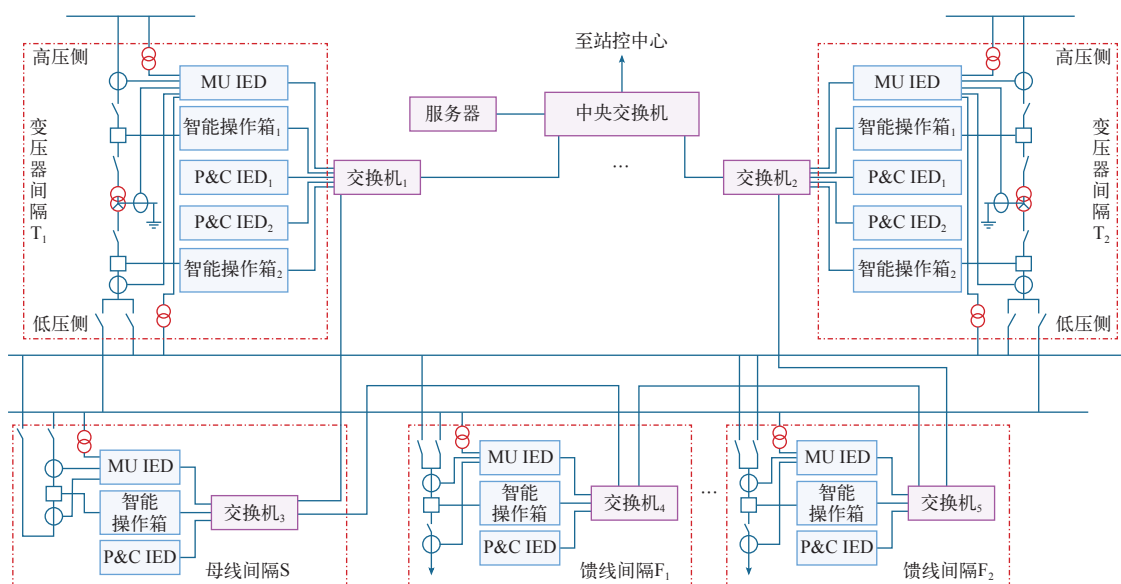


图4 变电站网络拓扑结构图

方式下整个网络的流量不是很大，但是其要求信源必须要有比较高的处理报文的性能。而适当得划分VLAN，将需要发送和接收报文的设备按照一种VLAN划分方法归划到一个VLAN里面，例如将间隔 T_1 里面的设备MU IED_ T_1 和各个间隔的P&C IED归划到一个VLAN里面，这样报文只需由MU IED_ T_1 出发，经过交换机 i 再发送到本间隔的P&C IED或者发送到中心交换机，再由中心交换机发送到各个间隔的P&C IED。此时网络的流量 $L_3 = (1 + 5 \times 1) \times 275 \text{ B} = 1\,650 \text{ B}$ 。和前面两种方式对比，VLAN的流量明显减少很多，而且其对信源和中心交换机性能的依赖性没有那么大，能够更好地实现变电站内部的通信。

举例分析

在图4的变电站中，用OSPF协议来获取网络的拓扑结构关系从而得到的设备端口的部分连接关系表如表3所示。

表3 设备端口连接关系

设备端口A	设备端口B
交换机 i_1 端口 i_1	MU IED_ T_1
交换机 i_1 端口 i_2	P&C IED $_{1_T_1}$
交换机 i_1 端口 i_3	P&C IED $_{2_T_1}$
交换机 i_1 端口 i_4	智能操作箱 $_{1_T_1}$
交换机 i_1 端口 i_5	智能操作箱 $_{2_T_1}$
交换机 i_1 端口 i_7	中央交换机_端口 $_{i_8}$
交换机 i_1 端口 i_8	交换机 $_{i_3}$ 端口 $_{i_7}$
交换机 $_{i_2}$ 端口 $_{i_1}$	MU IED_ T_2
交换机 $_{i_2}$ 端口 $_{i_2}$	P&C IED $_{1_T_2}$
交换机 $_{i_2}$ 端口 $_{i_3}$	P&C IED $_{2_T_2}$
交换机 $_{i_2}$ 端口 $_{i_4}$	智能操作箱 $_{1_T_2}$
交换机 $_{i_2}$ 端口 $_{i_5}$	智能操作箱 $_{2_T_2}$
交换机 $_{i_2}$ 端口 $_{i_7}$	交换机 $_{i_3}$ 端口 $_{i_8}$
交换机 $_{i_2}$ 端口 $_{i_8}$	中央交换机_端口 $_{i_7}$
交换机 $_{i_3}$ 端口 $_{i_1}$	MU IED_ S
交换机 $_{i_3}$ 端口 $_{i_2}$	P&C IED $_{i_S}$
交换机 $_{i_3}$ 端口 $_{i_3}$	智能操作箱_ S
交换机 $_{i_3}$ 端口 $_{i_7}$	交换机 $_{i_4}$ 端口 $_{i_8}$
交换机 $_{i_3}$ 端口 $_{i_8}$	交换机 $_{i_4}$ 端口 $_{i_7}$

通过解析SCD文件得到部分设备间的订阅关系如表4所示。

表4 设备间的订阅关系

发布者	订阅者
MU IED_ T_1	P&C IED $_{1_T_1}$
MU IED_ T_1	P&C IED $_{2_T_1}$
P&C IED $_{1_T_1}$	智能操作箱 $_{1_T_1}$
P&C IED $_{2_T_1}$	智能操作箱 $_{2_T_1}$
智能操作箱 $_{1_T_1}$	P&C IED $_{1_T_1}$
智能操作箱 $_{2_T_1}$	P&C IED $_{2_T_1}$
P&C IED $_{1_T_1}$	服务器
P&C IED $_{2_T_1}$	服务器
智能操作箱 $_{1_T_1}$	服务器
智能操作箱 $_{2_T_1}$	服务器

在得到了设备间的连接关系表和订阅关系表后，为实现图4中母线差动保护功能即可生成一个VLAN表，如表5所示。

表5 VLAN划分表

VLAN ID	设备
10	MU IED_ T_1
	P&C IED $_{1_T_1}$
	P&C IED $_{2_T_1}$
	智能操作箱 $_{1_T_1}$
	智能操作箱 $_{2_T_1}$
20	MU IED_ T_2
	P&C IED $_{1_T_2}$
	P&C IED $_{2_T_2}$
	智能操作箱 $_{1_T_2}$
	智能操作箱 $_{2_T_2}$
30	MU IED_ S
	P&C IED_ S
	智能操作箱_ S
40	MU IED_ F_1
	P&C IED_ F_1
	智能操作箱_ F_1
50	MU IED_ F_2
	P&C IED_ F_2
	智能操作箱_ F_2

结束语

通过以上分析可得：

- 1) VLAN划分能限制报文的广播域，隔离多余的报文，提高变电站网络传输效率和通信质量。
- 2) VLAN划分能通过正向校验（充分性）和

反向校验(必要性)证明其正确性。

3) VLAN划分方法在流量上较广播方式和单播方式都存在较大的优势。

4) 提出的基于SCD解析的智能变电站VLAN划分方法与实现是切实可行的。

参考文献

- [1] 马素刚. VLAN技术的研究与仿真[J]. 制造业自动化, 2011, 33(11): 78-81.
- [2] 王媛媛, 金连甫. VLAN技术在宽带接入网中的应用与实现[J]. 计算机工程, 2003, 29(9): 112-114.
- [3] 牛占平. VLAN技术在智能化变电站网络中的应用探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 75-78.
- [4] 丁腾波, 林亚男, 赵萌. 智能变电站虚拟局域网逻辑结构划分方案的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(1): 115-119.
- [5] 秦川红, 王宁, 任宏达, 等. 采用虚拟局域网的数字化变电站数据通信仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 126-131.
- [6] 张志丹, 黄小庆, 曹一家, 等. 基于虚拟局域网的变电站综合数据流分析与通信网络仿真[J]. 电网技术, 2011, 35(5): 204-209.
- [7] 熊坤, 寇晓蕊, 范元书, 等. 网络拓扑发现算法定性分析[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(14): 136-137.
- [8] 李倩, 宋如顺. 网络拓扑发现中信息收集方式的分析与研究[J]. 计算机应用, 2001, 21(12): 17-19.
- [9] 刘筱萍, 杨冰, 王浩. 变电站配置工具中SCL文件解析的分析与实现[J]. 电网技术, 2006, 30(7): 463-466.
- [10] Brunner C. IEC 61850 object model and configuration language[R]. ABB, 2002.
- [11] 范建忠, 马千里. 基于WINCAP的GOOSE报文捕获分析工具开发[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(23): 52-56.
- [12] 郭健生, 吴文宣, 王云茂, 等. 基于TinyXML的智能变电站SCD文件的解析[J]. 电力与电工, 2011, 31(3): 7-10.
- (收稿日期: 2014-03-10) **EA**

(上接第107页)

结束语

综上所述, 针对配电网故障高发线路, 可通过加装智能开关依靠级差配合实现故障隔离, 减少变电站出口开关动作次数。

配电网线路运行方式复杂多样, 故障处理模式也不可能单一, 需要因地、因网制宜, 制订合理实用的故障隔离方案。

参考文献

- [1] 国家电网公司. 配电自动化试点建设与改造技术

原则[S]. 2010.

- [2] 国家电网公司. Q/GDW 1738—2012 配电网规划设计技术导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [3] 林涛. 国家电网公司配电自动化应用提升工作进展介绍[C]. 第五届配电自动化技术应用论坛, 2014.
- [4] 江东文, 苏忠阳. 10 kV架空线配电自动化系统的初步实施[J]. 继电器, 2002, 29(8): 55-57.
- [5] 袁钦成. 配电系统故障检测自动化技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

(收稿日期: 2014-06-13) **EA**